

Бочкарев И.В.

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ ФРИКЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Приведены результаты работ по созданию устройства контроля электромеханических устройств, обеспечивающего непосредственный контроль как за замыканием, так и за размыканием их фрикционного узла.

Ключевые слова: исполнительные электромагнитные устройства, фрикционный узел, постоянный магнит, полюса магнитопровода, якорь, блок контроля, датчик тока, ложные срабатывания реле.

ВВЕДЕНИЕ

Исполнительные электромагнитные устройства с постоянными магнитами (ЭМУ ПМ) [1] широко используются во многих отраслях, в частности в робототехнике, станкостроении, подъемно-транспортном машиностроении, авиации, а также в различных автоматизированных системах и технологическом оборудовании. Широкое применение ЭМУ ПМ объясняется тем, что они обеспечивают дистанционную коммутацию кинематических цепей и передачу механической энергии с одного вала на другой, быстрое торможение вращающихся валов и позиционирование рабочих органов механизмов, регулирование технологических процессов, протекающих с участием жидкостей и газов, и т.д. За счет этого повышается качество выполнения заданных операций, надёжность работы и безопасность обслуживания оборудования. Потребность в таких ЭМУ весьма значительна и постоянно возрастает в связи с широкой автоматизацией производства. Например, для обеспечения высокой точности позиционирования рабочих исполнительных органов единственным техническим решением является применение ЭМУ ПМ, работающих в режиме фрикционного тормоза, которые обеспечивают быструю остановку вращающихся валов и их последующую фиксацию в заторможенном состоянии [2]. Таким образом, очевидно, что от эффективности работы ЭМУ ПМ зависят не только эксплуатационные показатели и возможности, уровень автоматизации и механизации, производительность и безопасность обслуживания оборудования, но и характер и степень нагруженности его деталей и узлов, которые, в свою очередь, определяют надёжность и срок службы механизмов и систем в целом.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В связи с расширением областей применения устройств с постоянными магнитами значительно возрос интерес к практическим вопросам, связанным с безопасной эксплуатацией таких устройств. Очевидно, что в процессе эксплуатации оборудования необходимо иметь информацию о том, соответствует ли состояние фрикционного узла ЭМУ ПМ требуемому по условиям эксплуатации режиму работы. Например, использование в электроприводе промышленного робота тормозного устройства, не обеспечивающего по каким-либо

причинам торможение и фиксацию вала, приводит не только к браку или поломке изготавливаемого изделия, но и к разрушениям самого робота. По стоимости убытки в этом случае могут быть весьма значительными и во много раз превышать стоимость самого тормоза. Кроме того, в этом случае резко снижается безопасность работы обслуживающего персонала. Таким образом, очевидно, что в процессе эксплуатации ЭМУ ПМ необходимо контролировать его состояние. Следовательно, диагностика состояния ЭМУ ПМ является важной и актуальной проблемой и её успешное решение позволяет существенно улучшить эксплуатационные характеристики и увеличить надёжность работы оборудования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Контроль состояния ЭМУ ПМ может осуществляться как контактными, так и бесконтактными способами. В первом случае можно использовать механические контактные датчики, например, в виде конечного выключателя или пьезодатчика, а во втором случае контроль может быть обеспечен, например, путем контроля формы кривой тока или изменения индуктивности обмотки при изменении положения якоря ЭМУ ПМ [2,3]. Анализ известных систем бесконтактного контроля позволил выявить следующие недостатки: во-первых, сигнализация состояния осуществляется по косвенным факторам, что значительно снижает достоверность самой системы контроля; во-вторых, при этом используются сложные схемы, увеличивающие стоимость и снижающие надёжность. Контактные способы по сравнению с бесконтактными обеспечивают более высокую достоверность контроля. Однако, известные устройства, реализующие этот способ контроля, имеют целый ряд недостатков, основными из которых являются следующие: увеличение габаритов ЭМУ ПМ за счет необходимости установки датчиков в активной зоне; значительное снижение надёжности работы, так как датчики испытывают значительные динамические ударные нагрузки; необходимость установки датчиков на стадии изготовления и сложность (а чаще и невозможность) их размещения в уже готовом ЭМУ ПМ.

Был проведен комплекс исследований по разработке устройства контроля, обладающего высокой достоверностью за счет реализации контактного способа и при этом свободного от перечисленных недостатков.

На **рис. 1** изображена принципиальная компоновка

основных активных частей фрикционного ЭМУ ПМ, предназначенного для работы в качестве муфты или тормоза.

Магнитная система состоит из магнитопровода, имеющего наружный 2 и внутренний 6 полюса и фланец 3, выполненные из магнитомягкой стали. Между полюсами размещена обмотка 5 и постоянный магнит 4. Дискový якорь 7 закреплен на упругой мембране 8, которая устанавливается на приводном валу посредством узла крепления 9, выполненного в виде цапги. Блок контроля 1 подключен к полюсам 2 и 6 магнитопровода параллельно постоянному магниту 4.

В электромагнитных устройствах магнитное поле постоянного магнита используется для создания усилия между соответствующими конструктивными элементами, а обмотка управляющего электромагнита служит или для компенсации этого поля, или для изменения его направления. При отсутствии напряжения на обмотке 5 магнитный поток постоянного магнита 4 притягивает якорь 7 к полюсам 2 и 6 магнитопровода. Тем самым за счет сил трения между указанными элементами создается усилие сцепления. Это усилие может быть использовано или для передачи вращающего момента между ведущим и ведомым валами (если данная конструкция использована для муфты), или для торможения (если, например, магнитопровод закреплен неподвижно).

При подключении обмотки 5 к источнику питания она создает магнитный поток, направленный встречно потоку постоянного магнита 4. Тем самым усилие притяжения якоря 7 к полюсам исчезает и он под действием усилия упругой мембраны 8 отходит от магнитопровода. За счет этого фрикционный узел муфты (или тормоза) размыкается.

Особенности конструкции ЭМУ ПМ с постоянными магнитами реализованы в разработанном устройстве контроля, в котором с целью увеличения надежности контроля предлагается в качестве информации о состоянии ЭМУ ПМ использовать наличие или отсутствие электрического контакта между якорем и верхним полюсом. Устройство содержит блок контроля 1, состоящий из последовательно соединенных источника питания 2 и датчика тока 3. Эквивалентная электрическая схема замещения ЭМУ ПМ с устройством контроля приведена на рис. 2. На схеме использованы следующие обозначения: $R_{ПМ}$, $R_{Я}$, $R_{Н}$, $R_{ВН}$ – электрические сопротивления соответственно постоянного магнита, якоря, наружного и внутреннего полюсов магнитопровода.

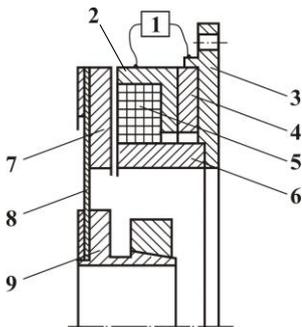


Рис. 1. Конструктивная компоновка фрикционного ЭМУ ПМ и устройства контроля состояния фрикционного узла

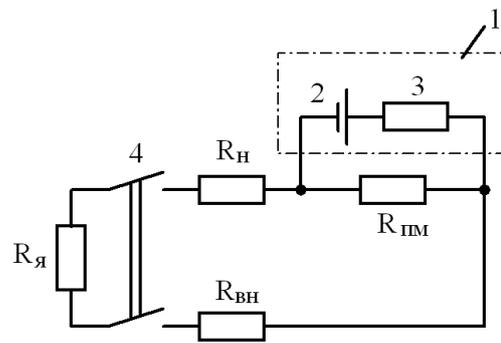


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема замещения ЭМУ ПМ с устройством контроля

В обесточенном состоянии якорь притянут к полюсам и между ними есть электрический контакт, что соответствует замкнутому положению ключа 4 на схеме. Следовательно, цепь « $R_{Н}$, $R_{ВН}$, $R_{Я}$ » шунтирует сопротивление $R_{ПМ}$ и суммарное электрическое сопротивление на входе устройства контроля незначительно. Поэтому по датчику тока 3 будет протекать ток.

При нормальной эксплуатации после подачи напряжения на обмотку растормаживающего электромагнита тормоз замыкается, то есть между якорем и полюсами появляется воздушный зазор δ_p . На эквивалентной схеме замещения наличие этого зазора соответствует разрыву электрической цепи между сопротивлением якоря $R_{Я}$ и сопротивлениями полюсов $R_{Н}$ и $R_{ВН}$ (т.е. разомкнутому состоянию ключа 4). Таким образом, в слаботочную цепь устройства контроля подключено только сопротивление постоянного магнита $R_{ПМ}$. Поскольку в ЭМУ ПМ обычно используют металлокерамические постоянные магниты, то величина $R_{ПМ}$ составляет, по меньшей мере, несколько килоом. За счет этого ток, протекающий по датчику тока 3, будет иметь при разомкнутом тормозе минимальное значение.

При отключении питания якорь притягивается к полюсам. Следовательно, в этом случае зазор $\delta_p=0$, что на схеме замещения соответствует замкнутому состоянию ключа 4. Тем самым сопротивление $R_{ПМ}$ шунтируется низкоомной цепью из сопротивлений $R_{Н}$, $R_{ВН}$ и $R_{Я}$ и суммарное электрическое сопротивление на выходе устройства контроля резко уменьшается. Это приводит к скачкообразному увеличению тока при замкнутом тормозе, регистрируемого датчиком тока 3.

Следовательно, величина тока однозначно зависит от положения якоря относительно полюсов, и по значению тока можно определить, замкнут или разомкнут ЭМУ ПМ в данный момент. Это позволяет исключить возможность аварийной работы последнего при его ошибочном замыкании или размыкании. Например, выполнив датчик тока в виде сигнальной лампочки, можно осуществлять визуальный контроль за состоянием ЭМУ ПМ: если лампочка светится, то он замкнут, если лампочка потухла, то он разомкнут. Имея постоянный контроль, оператор может своевременно выявить изменение режима ЭМУ ПМ и исключить тем самым его аварийную работу. При выполнении датчика тока в виде светодиодной части оптрона можно обеспечить автоматическое управление. В частности, при использовании предлагаемого устройства в приводе подач автоматизированных станков сигнал с фото-

приемника оптрона будет обрабатываться электроавтоматикой станка, и система числового программного управления в соответствии с заложенным алгоритмом работы будет или разрешать работу станка, или отключать его.

Таким образом, разработанное устройство позволяет с высокой степенью достоверности осуществлять контроль за положением якоря и, тем самым, за состоянием ЭМУ ПМ.

Для проверки работоспособности предлагаемого устройства была собрана схема, представленная на **рис. 3**.

В качестве объекта испытания был взят электромеханический тормоз типа ТПМ1 с постоянными магнитами, пристроенный к высокомоментному электродвигателю типа ВЭМ, предназначенному для привода подач станков с ЧПУ [2]. Поскольку обмотка данного тормоза рассчитана на номинальное напряжение 24 В, то для питания обмотки сигнального реле *P* было рационально использовать тот же источник питания. Для сглаживания выпрямленного напряжения в схему введен конденсатор *C*. Контакт *K* «якорь - верхний полюс» включен последовательно с обмоткой *P* реле.

В результате наблюдений, объем которых составил 10^4 включений тормоза, было выявлено, что происходят кратковременные ложные срабатывания реле при разомкнутом тормозе. Это можно объяснить наличием в зазоре металлической пыли, являющейся следствием износа фрикционных поверхностей тормоза. Эта пыль под действием магнитного поля ориентируется в направлении от верхнего полюса к якорю и образует тем самым электропроводящие мостики. Кроме того, при размыкании тормоза на обмотке реле возникают перенапряжения, из-за которых происходит искрение в зоне рабочего зазора, и процесс размыкания сигнального контакта затягивается.

Наблюдение и анализ осциллограмм ложных срабатываний (отказов) позволили определить, что их основными параметрами являются следующие вели-

ны: *T* – длительность (время отказа); *t*₁ – длительность отдельного ложного сигнала; *t*₂ – длительность отдельного достоверного сигнала. В течение времени *T*, равном примерно $5 \cdot 10^{-1} - 5 \cdot 10^{-2}$ с, происходит многократное изменение напряжения на контакте, причем *t*₁, как правило, меньше, чем *t*₂, а именно: $t_1 = 1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$ с, а $t_2 = 2 \cdot 10^{-3} - 10 \cdot 10^{-3}$ с.

С целью определения зависимости числа отказов от напряжения, приложенного к контакту, была проведена серия экспериментов при напряжениях 24, 18, 12, 6 В. При этом рабочий зазор выдерживали равным 0,5–0,6 мм, а режим работы тормоза не изменяли. Результаты эксперимента показали, что величина напряжения не влияет на надежность работы контакта.

Вторая серия экспериментов была направлена на определение зависимости числа отказов от величины зазора между якорем и полюсом тормоза. Выявлено, что при уменьшении указанного зазора ниже 0,4 мм число отказов резко увеличивается и при зазоре 0,2 мм устанавливается устойчивое состояние отказа (**рис. 4**).

При зазорах более 0,6 мм число отказов от величины зазора практически не зависит (наблюдения проводились при зазорах не более 1,5 мм, реально применяемых в ЭМУ ПМ). При этом следует отметить, что проведенный анализ показал, что в серийно выпускаемых ЭМУ ПМ минимальный воздушный рабочий зазор обычно составляет не менее 0,3 – 0,4 мм [3-5].

Для улучшения эксплуатационных характеристик устройства контроля ЭМУ ПМ был проведен комплекс исследований, на базе которого была получена его наиболее рациональная схема. Получено, что для отстройки от отказов в измерительную схему нужно ввести дополнительный конденсатор *C*_{доп}, подключенный параллельно обмотке *P* реле, а для снятия скачков напряжения при размыкании контакта параллельно обмотке *P* реле дополнительно включить диод *D* (**рис. 5**).

Проведенные эксперименты показали, что использование этой схемы позволяет полностью устранить ложные срабатывания.

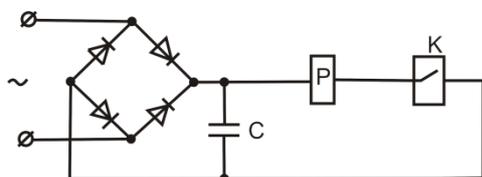


Рис. 3. Электрическая схема устройства контроля

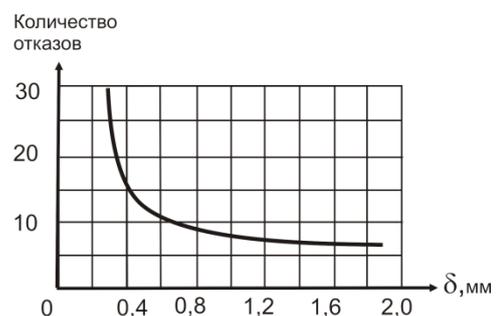


Рис. 4. Зависимость интенсивности отказов от величины воздушного рабочего зазора

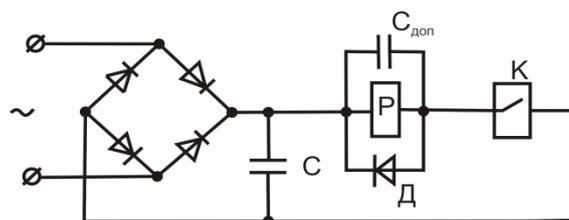


Рис. 5. Электрическая схема устройства контроля с защитой от ложных срабатываний

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований свидетельствуют об эффективности разработанного схемного решения устройства контроля состояния ЭМУ ПМ. При этом, как видно из рис. 5, предложенное решение обладает предельной простотой и не требует использования каких-либо сложных схем защиты от ложных срабатываний. Данное техническое решение обеспечивает высокую надежность работы системы контроля как за замыканием, так и за размыканием фрикционного узла ЭМУ ПМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочкарев И.В., Галбаев Ж.Т. Быстродействующие электромагнитные механизмы с постоянными магнитами для систем автоматики. Бишкек: Илим, 2008. 275 с.
2. Бочкарев И.В. Быстродействующие электромеханические тормозные устройства для электродвигателей. М.: Энергоатомиздат, 2001. 288 с.
3. Bochkarev I.V. Analysis of a doubly fed induction motor in electric drives of pumping stations. *Procedia Engineering*, 2015, no.129, pp.915-921. DOI 10.1016/j.proeng.2015.12.133.
4. Тормозные устройства: справочник / Александров М.П., Лысяков А.Г., Федосеев В.Н., Новожилов И.В.; под общ. ред. Александрова М.П. М.: Машиностроение, 1985. 312 с.
5. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. Л.: Политехника, 1991. 384 с.

Поступила в редакцию 01 апреля 2016 г.

INFORMATION IN ENGLISH

DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC DEVICES FOR FRICTION ELECTROMECHANICAL DEVICES

Igor' V. Bochkarev

D.Sc. (Eng.), Professor, Department of Electrical Engineering, I. Razzakov Kyrgyz State Technical University, Bishkek, Kyrgyz Republic. E-mail: elmech@mail.ru.

The paper describes the results of the work on design of a control device for electromechanical devices providing direct control of both closure and opening of their friction assembly.

Keywords: Actuating electromagnetic device, friction assembly, permanent magnet, magnetic pole, armature of an electromagnet, control unit, current sensor, false response of a relay.

REFERENCES

1. Bochkarev I.V., Galbaev Zh.T. *Bystrodeystvuyushchie elektromagnitnye mekhanizmy s postoyannymi magnitami dlya sistem avtomatiki* [Fast Electromagnetic Mechanisms with Permanent Magnets Intended for Automatic Systems]. Bishkek: Ilim Publ., 2008. 275 p.
2. Bochkarev I.V. *Bystrodeystvuyushchie elektromekhanicheskie*

tormoznye ustroystva dlya elektrodvigateley [Fast Electromechanical Brake Units for Electric Motors]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2001. 288 p.

3. Bochkarev I.V. Analysis of a doubly fed induction motor in electric drives of pumping stations. *Procedia Engineering*, 2015, no.129, pp.915-921. DOI 10.1016/j.proeng.2015.12.133.
4. Aleksandrov M.P., Lysyakov A.G., Fedoseev V.N., Novozhilov I.V. *Tormoznye ustroystva: spravochnik* [Brake Mechanisms. Reference book]. Under the editorship of Aleksandrov M.P. Moscow, Machine Building Publ., 1985. 312 p.
5. Ryakhovskiy O.A., Ivanov S.S. *Spravochnik po muftam* [Coupling reference book]. Leningrad, Politekhnik Publ., 1991. 384 p.